

Zastosowanie rezonansu magnetycznego w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej

Application of Magnetic Resonance in Diagnostics of Renal Artery Disease

Summary

Magnetic resonance angiography (angioNMR) is new, non-invasive method of renal artery visualisation. AngioNMR seems to be an ideal screening method in diagnosis of renal artery stenosis since it is fast, operator independent and minimally invasive. The use of rapid picture acquisition and gadolinium contrast also allows to assess the consecutive phases of gadolinium passage, cortico-medullar differentiation, renal blood flow velocity and glomerular filtration rate. Results of recent studies have revealed that angioNMR is more sensitive than Doppler ultrasound for the detection of accessory renal arteries. AngioNMR cannot be used in patients with implanted metallic bodies. Other limitations arise from its low availability and high cost. AngioNMR may play an important role in the diagnosis of renovascular hypertension or ischemic nephropathy and to establish indications for the renal revascularisation procedures.

key words: magnetic resonance angiography, renal artery stenosis, renovascular hypertension

Arterial Hypertension 2001, vol. 5, no 1, pages 55–59.

Wstęp

Częstość nadciśnienia naczyniowo-nerkowego wywołanego zwężeniem tętnicy nerkowej wśród wszystkich chorych z nadciśnieniem tętniczym wynosi 0,2–4% [1–4], ale w niektórych grupach chorych (np. ciężkie oporne nadciśnienie) może sięgać 10–30% [5–6]. Zwężenie tętnicy nerkowej prowadzi do nefropatii niedo-

krwiennej, będącej najczęstszą potencjalnie odwracalną przyczyną schyłkowej niewydolności nerek. Ocenia się, że zwężenie tętnicy nerkowej występuje u 8–17% chorych ze schyłkową niewydolnością nerek [7–10].

Przed wykonaniem arteriografii — zabiegu umożliwiającego definitywne rozpoznanie zwężenia tętnicy nerkowej, często połączonego z jego korekcją — przeprowadza się badania nieinwazyjne w celu ustalenia wskazań do arteriografii. Obecnie za badania o największej przydatności uważa się ultrasonografię dopplerowską, scyntyografię nerek, zwłaszcza połączoną z podaniem kaptoprylu, oraz spiralną tomografię komputerową. Wymienione metody posiadają również swoje wady ograniczające ich stosowanie. Badanie ultrasonograficzne nie daje pełnej informacji o morfologii zwężenia, wymaga od badającego sporego doświadczenia, często nie pozwala na uwidocznienie dodatkowych naczyń. Nierzadko nie udaje się wykonać badania u osób otyłych oraz przy obecności dużej ilości gazu w jelitach. Spiralna tomografia komputerowa wykazuje największą czułość przy ocenie zmian miażdżycowych i pozwala na ocenę struktury ściany naczynia. Jednak konieczność podawania dużej ilości kontrastu ogranicza jej stosowanie u chorych z niewydolnością nerek. Scyntygrafia nie pozwala na ocenę morfologii zwężenia oraz wykazuje mniejszą czułość i swoistość, zwłaszcza przy zmianach obustronnych.

Nową, nieinwazyjną metodą obrazowania tętnic nerkowych wprowadzoną w ciągu ostatniej dekady jest angiografia rezonansu magnetycznego (angioNMR — *magnetic resonance angiography*).

Zasada działania angiografii rezonansu magnetycznego

Obrazy rezonansu magnetycznego powstają przy zastosowaniu silnego pola magnetycznego i odzwierciedlają rozmieszczenia atomów wodoru (protonów).

Adres do korespondencji: dr med. Bartosz Symonides
Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych i Nadciśnienia Tętniczego AM
ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa
tel: (022) 659-75-06, faks: (022) 659-33-73
e-mail: bsymonid@amwaw.edu.pl

Copyright © 2001 Via Medica, ISSN 1428-5851

Jeżeli na protony umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym działa fala elektromagnetyczna o odpowiednio dobranej częstotliwości, tzw. rezonansowej, jej energia zostaje pochłonięta przez część protonów. Po ustaniu impulsu fali elektromagnetycznej wzbudzone protony tracą pochłoniętą wcześniej energię. Jest ona wykrywana przez układ cewek elektrycznych, co, poprzez zastosowanie technik komputerowych, pozwala na uzyskanie obrazu [11–12].

Możliwości nieinwazyjnego badania przepływu krwi za pomocą rezonansu magnetycznego (NMR — *magnetic resonance*) są znane od dawna i opierają się na różnicowaniu tkanek ruchomych od nieruchomych [13].

Sygnał zależy od prędkości i przyspieszenia przepływu krwi oraz położenia naczynia [11]. Obraz angiograficzny przy użyciu NMR uzyskuje się, stosując obrazowanie metodą czasu przejścia (TOF — *time of flight*) lub kontrastu fazowego (PC — *phase contrast*). Metoda TOF wykorzystuje różnicę w magnetyzacji pomiędzy protonami w płynącej krwi (niepoddanymi wcześniej impulsowi fali radiowej) a protonami tkanek nieruchomych danego obszaru. Metoda PC opiera się na przesunięciu fazy ruchu wirowego protonów, które występuje, gdy płynące protony znajdują się w polu magnetycznym [13]. Obie metody mają określone wady oraz zalety, które wzajemnie się uzupełniają, dlatego próbowano wykorzystywać obie techniki jednocześnie. Takie postępowanie poprawiało jakość obrazu, jednak prowadziło do wydłużenia czasu badania do 40 minut [13].

Angiografia rezonansu magnetycznego tętnic nerkowych jest badaniem trudnym technicznie ze względu na liczne artefakty ruchowe (czynność serca, oddychanie i perystaltyka), hamowanie sygnału przez otaczające tkanki, różnorodny charakter przepływu oraz nakładanie się sygnału z innych sąsiadujących naczyń [13]. W pierwszych badaniach uwidocznienie tętnic nerkowych uzyskiwano, stosując techniki TOF [13–17] lub PC [13, 18–19] bez podawania kontrastu. Czulość w wykrywaniu zwężenia tętnicy nerkowej badań angioNMR bez gadoliny w porównaniu z arteriografią wynosi 87–100%, specyficzność 92–97%. Technika ta umożliwia uzyskanie trójwymiarowych, przestrzennych obrazów tętnic nerkowych, jednak badanie angioNMR bez kontrastu umożliwiało ocenę jedynie początkowego odcinka tętnic nerkowych. Przeważnie nie udaje się także wykryć zwężeń w obrębie gałęzi tętnic nerkowych, dodatkowych tętnic nerkowych czy zmian o typie dysplazji [13–15, 17]. Innymi mankamentami metody angioNMR bez kontrastu był długi czas badania oraz niedoskonała ocena stopnia zwężenia [13–14, 17–18].

Angiografia rezonansu magnetycznego ze środkami paramagnetycznymi

W celu przezwyciężenia opisanych powyżej trudności technicznych Prince i wsp. zaproponowali wykonywanie angioNMR tętnic nerkowych z zastosowaniem gadoliny [20]. Badanie angioNMR wykonane techniką TOF bez zatrzymania oddechu pozwalało na rozpoznanie zwężenia tętnicy nerkowej z czułością 85–88% i specyficznością 92–93% w odniesieniu do arteriografii [20–21]. Jednak ze względu na długi czas akwizycji (2–4,5 min) powstawały artefakty wywołane oddychaniem i przepływem gadoliny przez żyły nerkowe. Dlatego, zdaniem niektórych autorów, angioNMR z gadoliną powinno być wykonywane przy zatrzymanym oddechu, co umożliwi dokładniejszą ocenę stopnia zwężenia tętnicy nerkowej [22]. Technika zatrzymanego oddechu wymaga jednak stosowania ultraszybkich metod pozyskiwania obrazu osiągalnych jedynie w nowszych aparatach NMR [23]. De Cobelli i wsp. wykazali, że angioNMR z gadoliną lepiej obrazuje dodatkowe tętnice nerkowe niż angioNMR bez gadoliny — 94% vs 61% [24].

Angiografia rezonansu magnetycznego wzmacniana środkami paramagnetycznymi jest według wielu autorów idealną metodą przesiewową w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej. Badanie jest szybkie, niezależne od operatora, minimalnie inwazyjne. Może być wykonywane u chorych z niewydolnością nerek, ponieważ gadolina nie jest nefrotoksyczna. Rezultaty najnowszych badań prospektywnych wykazują, że angioNMR z gadoliną może być bezpieczną i skuteczną metodą rozpoznawania zwężenia tętnicy nerkowej u chorych z postępującą niewydolnością nerek [25].

Czynnościowe badania rezonansu magnetycznego

Diagnostyka chorych z podejrzeniem nadciśnienia naczyniowo-nerkowego powinna zmierzać nie tylko do wykrycia zwężenia tętnicy nerkowej, ale także uwzględniać jego wpływ na czynność nerki [23, 26].

Zastosowanie szybkich metod obrazowania i podanie gadoliny umożliwia uwidocznienie kolejnych faz naczyniowych, ocenę wzmocnienia korowego i rdzeniowego, różnicy korowo-rdzeniowej oraz określenie prędkości wydzielania paramagnetyku przez nerkę [23, 26].

Prince i wsp. wykazali, że obraz angioNMR przed rewaskularyzacją nerki różnił się pomiędzy chorymi z dobrą odpowiedzią kliniczną na korekcję zwężenia tętnicy nerkowej i pozostałymi [26]. Podobnie Carlos i wsp. wykazali, że grubość warstwy mięsaszowej wzrasta po korekcji zwężenia tętnic nerkowych jedynie u

chorych z dobrą odpowiedzią kliniczną. Angiografia rezonansu magnetycznego może zatem odgrywać rolę w ocenie chorych po rewaskularyzacji nerki [30]. Badania Sommera i wsp. potwierdziły, że możliwa jest nieinwazyjna ocena przepływu krwi przez nerkę przy zastosowaniu angioNMR z gadoliną zarówno w obrębie tętnic, jak również żył nerkowych. Jednak z wartością klirensu PAH korelował jedynie przepływ oceniony w żyłę nerkowej [27]. Schonberg i wsp. uważają, że pewne parametry krzywej przepływu w tętnicy nerkowej uzyskanej przy użyciu angioNMR, takie jak zmniejszenie prędkości skurczowej i opóźnienie szczytowego przepływu skurczowego, są obiektywnymi i dokładnymi kryteriami istotnego hemodynamicznie zwężenia tętnicy nerkowej [28].

Badanie angioNMR z gadoliną pozwala na wykrycie zmian fazy cewkowej i wydzielniczej niedokrwionej nerki po podaniu kaptoprylu [29].

Ros i wsp. wykazali, że wartości przesączania kłębuszkowego ocenione na podstawie pomiarów spadku stężenia gadoliny w osoczu przy użyciu relaksometrii rezonansu magnetycznego wykazują wysoki współczynnik korelacji ($r = 0,98$) z klirensem ^{99m}Tc -DTPA.

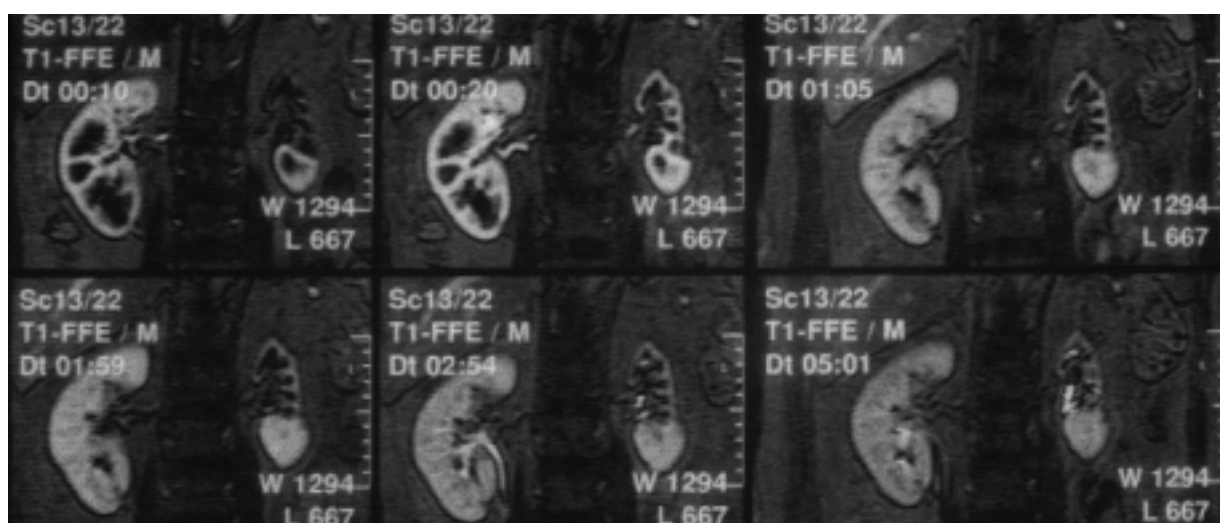
Wyniki badań prowadzonych w Katedrze i Klinice Chorób Wewnętrznych i Nadciśnienia Tętniczego we współpracy z II Zakładem Radiologii i Klinicznej Akademii Medycznej w Warszawie są dowodem, że przy zastosowaniu sekwencji NMR z krótkim czasem akwizycji można uzyskać obraz tętnic nerkowych oraz ocenić funkcję wydalniczą nerki po jednokrotnym podaniu gadoliny [31]. U wszystkich 22 chorych z podejrzeniem zwężenia tętnicy nerkowej rozpoznanego na



Rycina 1. Obraz angioNMR u chorej z niedrożnością lewej tętnicy nerkowej. Widoczne dodatkowe tętnice nerkowe (strzałki)

Figure 1. AngioNMR of a patient with occluded left renal artery. Accessory arteries may be seen (arrows)

podstawie objawów klinicznych była możliwa morfologiczna ocena tętnic nerkowych. Wykryto 12 zwężeń, 2 przypadki niedrożności tętnicy nerkowej, ponadto u 5 chorych stwierdzono dodatkowe tętnice nerkowe (ryc. 1). We wszystkich przypadkach uzyskano krzywe renograficzne umożliwiające ocenę dynamiki wzmocnienia kontrastowego kory, rdzenia i układu kielichowo-miedniczkowego. U 6 spośród 7 chorych z nieprawidłowymi krzywymi renograficznymi stwierdzono zwężenie lub niedrożność tętnic nerkowych (ryc. 2).



Rycina 2. Kolejne fazy naczyniowe badania angioNMR u chorej z niedrożnością lewej tętnicy nerkowej. Dolny biegun lewej nerki unaczyniony przez tętnicę dodatkową

Figure 2. Consecutive phases of gadolinium passage in a patient with occluded left renal artery. Lower lobe of the left kidney supplied by accessory artery

Porównanie angioNMR i innych badań nieinwazyjnych stosowanych w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej

W badaniu Leunga i wsp., którym objęto 89 chorych z klinicznym podejrzeniem nadciśnienia naczyniowo-nerkowego, porównano angioNMR po podaniu gadoliny i ultrasonografię podwójną [32]. Średni całkowity czas trwania badania angioNMR był 3-krotnie krótszy niż badania dopplerowskiego. Mimo że nie wykazano istotnych statystycznie różnic czułości i specyficzności obu badań, przy użyciu angioNMR lepiej wykrywano dodatkowe tętnice nerkowe (96%) niż za pomocą ultrasonografii dopplerowskiej (5%). Ostatnio opublikowane wyniki także wskazują na przewagę angioNMR nad ultrasonografią podwójną w wykrywaniu dodatkowych naczyń [33]. W pracy de Cobellego i wsp. za pomocą angioNMR postawiono właściwą diagnozę u 92% chorych, natomiast przy użyciu ultrasonografii jedynie w 23% przypadków.

Z kolei ultrasonografia podwójna zdaniem wielu autorów jest lepszą metodą diagnostyczną u chorych z podejrzeniem dysplazji włóknisto-mięśniowej niż angioNMR oraz lepiej oddaje hemodynamiczną istotność zwężenia tętnicy nerkowej [32]

Ograniczenia angiografii rezonansu magnetycznego

Angiografii rezonansu magnetycznego nie można stosować u chorych ze stymulatorem serca, metalowymi zaciskami naczyniowymi, metalicznymi ciałami obcymi i implantami oraz klaustrofobią. U chorych ze stentem założonym do tętnicy nerkowej badanie to można wykonać po kilku miesiącach od zabiegu [34]. Inne ograniczenia tej metody to mała dostępność aparatury oraz wysoki koszt badania.

Perspektywy

Angiografia rezonansu magnetycznego może odegrać istotną rolę w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej u chorych z podejrzeniem nadciśnienia naczyniowo-nerkowego lub nefropatii niedokrwiennej. Rezonans magnetyczny pozwala także na jednoczesną ocenę wielkości nerek oraz nadnerczy, więc jest on bardzo przydatnym badaniem przesiewowym u chorych z podejrzeniem wtórnej postaci nadciśnienia tętniczego [11]. Może ono również ułatwić kwalifikowanie pacjentów do rewaskularyzacji nerki oraz monitorowanie chorych po tych zabiegach.

Podziękowanie

Autor dziękuje dr hab. med. Markowi Gołębiowskiemu za udostępnienie klisz badań angioNMR wykorzystanych w niniejszej pracy.

Streszczenie

Angiografia rezonansu magnetycznego (angioNMR) jest nową, nieinwazyjną metodą przesiewową w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej. Badanie jest szybkie, niezależne od operatora, minimalnie inwazyjne. Zastosowanie szybkich metod obrazowania i podanie kontrastu — gadoliny, umożliwia także uwidocznienie kolejnych faz naczyniowych, ocenę wzmocnienia korowego i rdzeniowego, różnicy korowo-rdzeniowej, określenie prędkości przepływu krwi przez nerkę i wartości przesączania kłębuszkowego. Wyniki najnowszych badań wykazały, że angioNMR jest lepszym niż ultrasonografia dopplerowska badaniem wykrywającym dodatkowe tętnice nerkowe. Badanie angioNMR nie może być stosowane u chorych z implantowanymi ciałami metalicznymi. Inne ograniczenia tej metody to mała dostępność aparatury oraz wysoki koszt badania. Angiografia rezonansu magnetycznego może odegrać istotną rolę w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej u chorych z podejrzeniem nadciśnienia naczyniowo-nerkowego lub nefropatii niedokrwiennej oraz ułatwić kwalifikowanie chorych do rewaskularyzacji nerki.

słowa kluczowe: angiografia rezonansu magnetycznego, zwężenie tętnicy nerkowej, nadciśnienie naczyniowo-nerkowe

Nadciśnienie Tętnicze 2001, tom 5, nr 1, strony 55–59.

Piśmiennictwo

- Gifford R.W.Jr: Evaluation of the hypertensive patient with emphasis on detecting curable causes. *Milbank. Mem. Fund. Q.* 1969, 47, 170–1999.
- Danielson M., Dammström B.: The prevalence of secondary and curable hypertension. *Acta Med. Scand.* 1981, 209, 451–455.
- Sinclair A.M., Isles C.G., Brown I., Cameron H., Murray G.D., Robertson J.W.: Secondary hypertension in a blood pressure clinic. *Arch. Intern. Med.* 1987, 147, 1289–1293.
- Rudnick K.V., Sackett D.L., Hirst S., Holmes C.: Hypertension in a family practice. *Can. Med. Assoc. J.* 1977, 117, 492–497.
- Horvath J.S., Waugh R.C., Tiller D.J., Duggin G.G.: The detection of renovascular hypertension: a study of 490 patients by renal angiography. *Q. J. Med.* 1982, 51, 139–146.
- Davis B.A., Crook J.E., Vestal R.E., Oates J.A.: Prevalence of renovascular hypertension in patients with grade III or IV hypertensive retinopathy. *N. Engl. J. Med.* 1979, 301, 1273–1276.

7. Scoble J., Mahler E.R., Hamilton G., Dick R., Sweny P., Moorhead J.F.: Atherosclerotic renovascular disease causing renal failure—a case for treatment. *Clin. Nephrol.* 1989, 31, 119–122.
8. Mailloux L.U., Belluci A.G., Mossey R.T., Napolitano B., Moore T., Wilkes B. i wsp.: Predictors of survival in patients undergoing dialysis. *Am. J. Med.* 1988, 84, 855–862.
9. Appel R.G., Bleyer A.J., Reavis S., Hansen K.J.: Renovascular disease in older patients beginning renal replacement therapy. *Kidney Int.* 1995, 48, 171–176.
10. Scoble J.E., Mahler E.R., Hamilton G.: Atherosclerotic renal artery disease causing renal impairment — a case of treatment. *Clin. Nephrol.* 1989, 31, 119–122.
11. Aitchison F., Page A.: Diagnostic imaging of renal artery stenosis. *J. Hum. Hypertens.* 1999, 13, 595–603.
12. Grist T.M.: Magnetic resonance angiography of renal artery stenosis. *Am. J. Kidney Dis.* 1994, 24, 700–712.
13. Marcos H.B., Choyke P.L.: Magnetic resonance angiography of the kidney. *Semin. Nephrol.* 2000, 20, 450–455.
14. Debatin J.F., Spritzer C.E., Grist T.M., Beam C., Svetkey L.P., Newman G.E. i wsp.: Imaging of the renal arteries: value of MR angiography. *Am. J. Roentgenol.* 1991, 157, 981–990.
15. Kim D., Edelman R.R., Kent K.C., Porter D.H., Skillman J.J.: Abdominal aorta and renal artery stenosis: evaluation with MR angiography. *Radiology* 1990, 174, 727–731.
16. Kent K.C., Edelman R.R., Kim D., Steinman T.I., Porter D.H., Skillman J.J.: Magnetic resonance imaging: a reliable test for the evaluation of proximal atherosclerotic renal arterial stenosis. *J. Vasc. Surg.* 1991, 13, 311–318.
17. Loubeyre P., Revel D., Garcia P., Delignette A., Canet E., Chirossel P. i wsp.: Screening patients for renal artery stenosis: value of three-dimensional time-of-flight MR angiography. *Am. J. Roentgenol.* 1994, 162, 847–852.
18. Postma C.T., Joosten F.B., Rosenbusch G., Thien T.: Magnetic resonance angiography has a high reliability in the detection of renal artery stenosis. *Am. J. Hypertens.* 1997, 10, 957–963.
19. De Cobelli F., Mellone R., Salvioni M., Vanzulli A., Sironi S., Manunta P. i wsp.: Renal artery stenosis: value of screening with three-dimensional phase-contrast MR angiography with a phased-array multicoil. *Radiology* 1996, 201, 697–703.
20. Silverman J.M., Friedman M.L., Van Allan R.J.: Detection of main renal artery stenosis using phase-contrast cine MR angiography. *Am. J. Roentgenol.* 1996, 166, 1131–1137.
21. Prince M.R.: Renal MR angiography: a comprehensive approach. *J. Magn. Reson. Imaging* 1998, 8, 511–516.
22. Thornton J., O'Callaghan J., Walshe J., O'Brien E., Varghese J.C., Lee M.J.: Comparison of digital subtraction angiography with gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography in the diagnosis of renal artery stenosis. *Eur. Radiol.* 1999, 9, 930–934.
23. Snidow J.J., Johnson M.S., Harris V.J., Margosian P.M., Aisen A.M., Lalka S.G. i wsp.: Three-dimensional Gadolinium-enhanced MR angiography for aortoiliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath hold. *Radiology* 1996, 198, 725–732.
24. Schoenberg S.O., Knopp M.V., Bock M., Prince M.R., Allenberg J.R.: Combined morphologic and functional assessment of renal artery stenosis using gadolinium enhanced magnetic resonance imaging. *Nephrol. Dial. Transplant.* 1998, 13, 2738–2742.
25. De Cobelli F., Vanzulli A., Sironi S., Mellone R., Angeli E., Venturini M. i wsp.: Renal artery stenosis: evaluation with breath-hold, three-dimensional, dynamic, gadolinium-enhanced versus three-dimensional, phase-contrast MR angiography. *Radiology* 1997, 205, 689–695.
26. Ghantous V.E., Eisen T.D., Sherman A.H., Finkelstein F.O.: Evaluating patients with renal failure for renal artery stenosis with gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography. *Am. J. Kidney Dis.* 1999, 33, 36–42.
27. Prince M.R., Schoenberg S.O., Ward J.S., Londy F.J., Wakefield T.W., Stanley J.C.: Hemodynamically significant atherosclerotic renal artery stenosis: MR angiographic features. *Radiology* 1997, 205, 128–136.
28. Carlos R.C., Prince M.R., Ward J.S., Stanley J.C., Dong Q., Londy F.J.: Renal anatomic changes on magnetic resonance imaging and gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography after renal revascularization. Original investigation. *Invest. Radiol.* 1998, 33, 660–669.
29. Sommer G., Noorbehesht B., Pelc N., Jamison R., Pinevich A.J., Newton L. i wsp.: Normal renal blood flow measurement using phase-contrast cine magnetic resonance imaging. *Invest. Radiol.* 1992, 27, 465–470.
30. Schoenberg S.O., Knopp M.V., Bock M., Kallinowski F., Just A., Essig M. i wsp.: Renal artery stenosis: grading of hemodynamic changes with cine phase-contrast MR blood flow measurements. *Radiology* 1997, 203, 45–53.
31. Grenier N., Trillaud H., Combe C., Degreze P., Jeandot R., Gosse P. i wsp.: Diagnosis of renovascular hypertension: feasibility of captopril-sensitized dynamic MR imaging and comparison with captopril scintigraphy. *Am. J. Roentgenol.* 1996, 166, 835–843.
32. Ros P.R., Gauger J., Stoupis C., Burton S.S., Mao J., Wilcox C. i wsp.: Diagnosis of renal artery stenosis: feasibility of combining MR angiography, MR renography, and gadopentetate-based measurements of glomerular filtration rate. *Am. J. Roentgenol.* 1995, 165, 1447–1451.
33. Cieszanowski A., Gołębiowski M., Symonides B., Gaciong Z., Szeszkowski W.: Zastosowanie połączonej angiografii i renografii MR w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej — doniesienie wstępne. *Rez. Magn. Med.* 2001 (w druku).
34. Leung D.A., Hoffmann U., Pfammatter T., Hany T.F., Rainoni L., Hilfiker P. i wsp.: Magnetic resonance angiography versus duplex sonography for diagnosing renovascular disease. *Hypertension* 1999, 33, 726–731.
35. De Cobelli F., Venturini M., Vanzulli A., Sironi S., Salvioni M., Angeli E. i wsp.: Renal arterial stenosis: prospective comparison of color Doppler US and breath-hold, three-dimensional, dynamic, gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology* 2000, 214, 373–380.
36. Tello R., Thomson K.R., Witte D., Becker G.J., Tress B.M.: Dynamic gadolinium DTPA-enhanced magnetic resonance of intravascular stents. *Invest. Radiol.* 1998, 33, 411–414.

